

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-347512

(43)Date of publication of application : 27.12.1993

(51)Int.Cl.

H03B 5/32

(21)Application number : 04-153433

(71)Applicant : MEIDENSHA CORP

(22)Date of filing : 12.06.1992

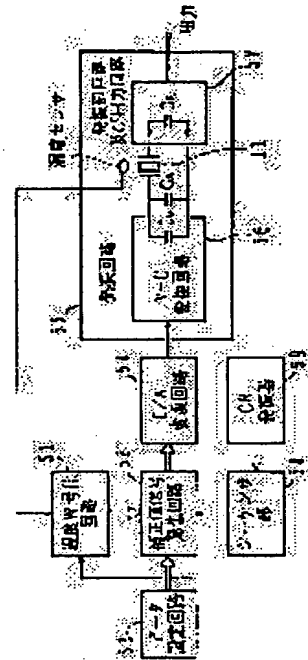
(72)Inventor : WATABE TAKAO  
MATSUMOTO KAZUNARI

## (54) TEMPERATURE COMPENSATION TYPE CRYSTAL OSCILLATOR

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To provide a small-sized crystal oscillator whose frequency deviation does not exceed an allowable value.

**CONSTITUTION:** In the crystal oscillator for which a temperature sensor 50 is arranged in the vicinity of a crystal oscillating circuit 55 containing an AT cut crystal resonator 11, its detected temperature is converted to digital temperature data by a temperature encoding circuit 51, and also, a correction value signal based on the temperature data is guided to a V/C converting circuit 56 and the oscillation frequency of the crystal resonator 11 is corrected, the input/output characteristic of the temperature encoding circuit 51 becomes a pseudo tertiary curve characteristic whose gradient becomes maximum in the vicinity of a temperature at which a frequency variation rate per a unit temperature of the crystal resonator 11 becomes maximum or a primary linear characteristic of plural gradients close to its curve characteristic. Accordingly, at the time of obtaining temperature data, a temperature is fractionized in an area where the frequency variation rate is sharp, and the number of quantizing bits can be decreased.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 温度変化に伴いその周波数偏差が変化する A T カット水晶振動子を含む水晶発振回路と、前記水晶振動子近傍の温度を検出する温度センサと、検出温度を表すアナログ信号を入力して該入力値に対応するデジタル温度データを出力する温度符号化回路と、該温度データに基づく補正值信号を前記水晶発振回路に導いて発振周波数の補正を行う発振周波数補正手段とを少なくとも備えてなる温度補償型水晶発振器において、

前記温度符号化回路の入出力特性を、前記 A T カット水晶振動子の単位温度当りの周波数変化率が最小となる温度近傍にてその勾配が最小となり、単位温度当りの周波数変化率が最大になる温度近傍にてその勾配が最大となる疑似三次曲線特性となしたことを特徴とする温度補償型水晶発振器。

【請求項 2】 前記温度符号化回路の入出力特性を、前記疑似三次曲線特性と近似する複数勾配の一次直線特性となしたことを特徴とする請求項 1 記載の温度補償型水 \*

$$\Delta F / F_0 = A_0 (T - 25)^3 + B_0 (T - 25) \quad [\text{ppm}] \cdots (1)$$

ここに、 $A_0$  はカットのばらつきに依存する三次係数で、値としては概ね  $9 \sim 10 \times 10^{-5}$  となる。また、 $B_0$  は主としてカット角度に依存する一次係数で、値としては概ね  $-2 \sim -4.5 \times 10^{-1}$  となる。尚、 $T$  は温度  $[\text{℃}]$  を表す。

【0005】ところで、セルラーや車載無線機では、周波数偏差 ( $\Delta F / F_0$ ) の許容値が非常に小さく、例えば、図 4 に示す例では  $-35 \text{℃} \sim +85 \text{℃}$  の温度範囲では  $\pm 0.5 \text{ [ppm]}$  以内である。したがって、図 3 に示した特性の水晶振動子は、いずれも許容範囲外となる。そこで、上記用途においては、A T カット水晶振動子を含む発振回路に温度補償回路を設けて温度補償型水晶発振器となし、周波数偏差の変動が許容値内に収まるように制御しているのが通常である。

【0006】図 5 は、従来の温度補償型水晶発振器のブロック構成図であり、図中、50 は温度センサ、51 は温度符号化回路、52 は補正值信号発生回路、53 はデータ設定回路、54 は L P F (Low pass Filter) を内蔵 ※

\* 晶発振器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、セルラーや車載無線機に用いられる温度補償水晶発振器に関し、より詳細には、温度情報のアナログ/デジタル変換手段に特徴を有する水晶発振器に関する。

【0002】

【従来の技術】A T カット水晶振動子は、その周波数温度特性が三次曲線であり、広範囲にわたって高性能が得られることは周知である。図 3 は、この種の A T カット水晶振動子の周波数偏差-温度特性図であり、11~18 は、夫々カット角度の異なる A T カット水晶振動子の場合を示す。

【0003】一般に、A T カット水晶振動子の周波数偏差 ( $\Delta F / F_0$ ) は (1) 式で表される。

【0004】

【数 1】

20 ※したデジタル/アナログ変換回路 (以下、D/A 変換回路と称する。)、55 は水晶発振回路を表す。

【0007】水晶発振回路 55 は、図 3 の特性を有する特定の A T カット水晶振動子 11 と、バラクタダイオード等の電圧-静電容量変換回路 (以下、V-C 変換回路と称する。) と、発振部回路及び外部回路とのインターフェースをなす出力回路 57 とを有している。また、58 はシーケンサ部、59 は C R 発振器である。なお、C R 発振器 59 は図 5 の出力の分周で代えるときもある。

【0008】次に、上記構成の水晶発振器の動作を簡単に説明する。

【0009】いま、V-C 変換回路 56 において、バラクタダイオード ( $C_v$ ) の入力逆方向電圧  $v$  が D/A 変換回路 54 の可変可能範囲のほぼ中央  $v_0$  にあるものとし、この電圧  $v_0$  に対応する等価容量を  $C_{v0}$  とすると、このときの発振器出力周波数  $F_0$  は (2) 式ようになる。

【0010】

【数 2】

$$F_0 \approx F_s \left\{ 1 + \frac{1}{2r \left( 1 + \frac{C_L}{C_0} \right)} \right\} \cdots (2)$$

$$\text{但し、} C_L = \frac{C_K (C_A + C_{v0})}{C_K + C_A + C_{v0}}$$

【0011】(2) 式において、 $C_A$  はバラクタダイオード ( $C_v$ ) の感度を調整する並列容量であり、その温度係数を便宜上、"0" (温度変化の影響を受けない) とする。また、 $C_K$  は出力回路 57 の入力端容量であり、これも温度係数を "0" とする。更に、 $F_s$ 、 $C_0$ 、 $r$  は水晶振動子 11 の等価定数であり、夫々、直列共振周波数、並列容量、容量比 ( $C_0 / C_L$ ) を表す。

【0012】ここで、温度補償型水晶発振器の環境温度が例えば  $-25 \text{℃}$  から  $+62 \text{℃}$  まで上昇した場合を考える。この場合、水晶振動子 11 の周波数偏差は、図 3 によれば  $-10.5 \text{ [ppm]}$  となる。温度センサ 50 はこのときの温度を検出して温度符号化回路 51 に送る。

【0013】温度符号化回路 51 は、検出温度を表すアナログ信号を入力して該入力値に対応するデジタル温度

データを出力する回路であり、具体的には、検出温度を（アナログ）電圧に変換する温度／電圧変換部と、変換後の電圧を所定レベルに増幅する増幅部と、該電圧値に対応するデジタル信号を出力するアナログ／デジタル変換部（A/D変換部）とを備えている。A/D変換部は、図6に示すように、アナログ入力（検出温度T）61に対応するデジタル出力（温度データDa）62が比例関係となる比例直線特性を有しており、上記62℃の検出温度に対応する温度データDaを補正值信号発生回路52に送る。

【0014】補正值信号発生回路52には、E<sup>2</sup>-PR OM（電氣的消去可能ROM）やフラッシュROM、あるいはワンタイムROM等の記憶デバイスが備えられており、水晶振動子11～18の種類毎に、アドレスデータとなるデジタル温度データDaと該温度データに対応するデジタル補正值信号Dvi（後述）とがデータ設定回路55により書き込まれている。この補正值信号発生回

$$\Delta F / F_0 = (F_1 - F_0) / F_0 = -10.5 \text{ [ppm]}$$

であったことになる。したがって、この発振器出力周波数F<sub>1</sub>が限りなくF<sub>0</sub>に近付くようにバラクタダイオードの等価容量C<sub>v1</sub>を調整すれば、温度補償がなされることになる。

※【0018】このときの等価容量C<sub>v1</sub>は(4)式より求まる。

【0019】

※【数4】

$$C_{v1} = \frac{C_K C_{L'} - (C_K - C_{L'}) C_A}{C_K - C_{L'}} \quad \dots (4)$$

$$\text{但し } C_{L'} = \frac{C_L + \beta C_0}{1 - \beta}$$

$$\beta = \alpha \cdot \frac{\Delta F}{F_0}$$

$$\alpha = 2r \left( 1 + \frac{C_L}{C_0} \right)$$

【0020】この等価容量をC<sub>v1</sub>とする逆方向電圧v<sub>i</sub>の源データとなるのが前述の補正值信号Dviである。

【0021】なお、上記一連の動作は、シーケンサ部58により制御される。即ち、CR発振器59から出力されるクロックを基準としてシーケンサ部58では、温度符号化回路51から補正值信号発生回路52への温度データ出力タイミング、補正值信号発生回路52からD/A変換回路54へのデータ出力タイミングを決定する新たなクロック信号を生成する。

【0022】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上記構成の水晶発振器において、適正な温度補償を行うためには以下の条件を満足することが前提となる。

\*路52では、前記62℃の温度データDaに対応すアドレスから補正值信号Dviを読み出してD/A変換回路54に送る。

【0015】D/A変換回路54では、この補正值信号Dviをアナログ化し、LPFを通してV-C変換回路56に送る。そしてここで補正值信号Dviに対応する逆方向電圧v<sub>i</sub>がバラクタダイオードに印加される。

【0016】バラクタダイオードの逆方向電圧がv<sub>0</sub>からv<sub>i</sub>に増えると、その等価容量は逆方向電圧に対応して小さくなる。このときの等価容量をC<sub>v1</sub>とする。上記(2)式を参照すると、バラクタダイオードの等価容量

(C<sub>v0</sub>)が小さくなるにつれて発振器出力周波数(F<sub>0</sub>)が高くなることがわかる。例えば上記の例では、発振器出力周波数をF<sub>1</sub>とすると、

【0017】

【数3】

【0023】(1) 温度センサ50が水晶発振回路55の温度を遅れなく正確に検出すること。

【0024】(2) 温度符号化回路51が充分小さな量子化誤差にてA/D変換を行うこと。例えば0.125 [°C/dig (digは単位デジタル量、以下同じ)]以上の精度で量子化するには少なくとも10ビット(2<sup>10</sup>)のデータ長が必要となる。

【0025】(3) 補正值信号発生回路52から出力される補正值信号は充分なデータ長を持つこと。例えば0.05 [ppm/dig]以上の精度で補正する場合には、少なくとも9ビット(2<sup>9</sup>)のデータ長が必要となる。

【0026】(4) D/A変換回路54では誤差の小さ

な変換を行うこと。

【0027】(5)シーケンサ部58は周囲温度の変化率とジッタとを考慮した処理タイミングを持つこと。

【0028】このような条件を全て満たすには、各部品を上記データ長(ビット数)に対応した構成にしなければならず、また、別途補正回路等が必要となる。そのため、発振器寸法が大型化し、また、高価なものとなる。車載用無線機では、少なくとも水晶発振器を小型にすることが使命であり、そのためには、温度符号化回路51のデータ長を8ビット程度に抑え、これに伴う補正值信号発生回路52の記憶デバイスの容量削減等の措置を講ずる必要がある。しかし、そうすると、下記のような二\*

$$\frac{\partial \left( \frac{\Delta F}{F_0} \right)}{\partial T} = 3 A_0 (T - 25)^2 + B_0 \quad \dots (5)$$

【0031】一方、全水晶振動子11~18の場合についてみると、周波数変化率が最大になるのは水晶振動子18であり、この場合の-35℃、85℃における値は次のようになる。

【0032】

【数6】

$$\frac{\partial \left( \frac{\Delta F}{F_0} \right)}{\partial T} = 1.2 \text{ [ppm/℃]}$$

※

$$\frac{\Delta F}{F_0} = 1.2 \text{ [ppm/℃]} \times 0.5 \text{ [℃/dig]} = 0.6 \text{ [ppm/dig]} \dots (6)$$

【0035】更に、最悪の場合には2dig近い温度変化を伴う場合もあり、この場合には1.2[ppm]となつて大きく目標偏差幅を超える。

【0036】もう一つはジッタの問題である。データ長が8ビットの場合は、前述のように、温度ステップが0.5[℃/dig]であるから、(6)式から明らかなように、最大0.6[ppm]のジッタが発生する。この場合、D/A変換回路54のLPFの効果が10ビットの場合と同様にあるとしても、そのジッタ量は2ビット削減の影響で4倍(2<sup>2</sup>)となる。したがって、この場合も目標偏差幅を超える。

【0037】本発明は、かかる背景の下になされたもので、その目的とするところは、温度変化による周波数変動補償を適切に行い得る温度補償型水晶発振器を提供することにある。

【0038】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明では、温度変化に対応してその周波数偏差が変化するATカット水晶振動子を含む水晶発振回路と、前記水晶振動子近傍の温度を検出する温度センサと、検出温度を表すアナログ信号を入力して該入力値に対応す

\*つの問題があった。

【0029】まず、量子化精度が低下し、周波数急変を伴う問題が挙げられる。いま、温度符号化回路51のデータ長を8ビットとして-35℃~+85℃の範囲をカバーしようとする、各温度データDaは0.5[℃/dig]となる。この場合、前記(1)式から求まる周波数偏差の変化率、即ち周波数変化率は、下記に示す(5)式のようになり、例えば図3に示したある水晶振動子14の場合には、図7のように下方に凸部を有する二次曲線となる。

【0030】

【数5】

※【0033】この場合、1dig当りの変化は(6)式のようになり、目標偏差の最大値0.5[ppm]を明らかに超える。

20 【0034】

【数7】

30 るデジタル温度データを出力する温度符号化回路と、該温度データに基づく補正值信号を前記水晶発振回路に導いて発振周波数の補正を行う発振周波数補正手段とを少なくとも備えてなる温度補償型水晶発振器において、前記温度符号化回路の入出力特性を、前記ATカット水晶振動子の単位温度当りの周波数変化率が最小となる温度近傍にてその勾配が最小となり、単位温度当りの周波数変化率が最大となる温度近傍にてその勾配が最大となる疑似三次曲線特性となしたものである。

40 【0039】なお、該温度符号化回路の入出力特性を、前記疑似三次曲線特性と近似する複数勾配の一次直線特性としても良い。

【0040】

【作用】温度符号化回路の入出力特性を疑似三次曲線となすことで、ATカット水晶振動子の周波数温度特性に対応した温度データが出力される。即ち、該疑似三次曲線の勾配が大きい領域では、1dig当たりの温度が小さくなり、僅かな温度変化でも異なる温度データが出力される。したがって、この領域ではA/D変換部のビット数を多くした場合と同様に作用し、発振周波数の補正が頻繁になされる。

【0041】他方、単位温度当りの周波数変化率が最小となる領域では1 d i g 当たりの温度を大きくしても実際上は支障がない。

【0042】なお、上記作用は、疑似三次曲線特性に近似する複数の勾配を有する直線特性とした場合も同様となる。

【0043】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の実施例を説明する。なお、本発明の温度補償型水晶発振器は、従来のものと同一の構成部品を有するので、各構成部品については図5に示した名称及び符号をそのまま用いて説明する。

【0044】本実施例は、従来の温度補償型水晶発振器において、温度符号化回路51 (A/D変換部) の入出力特性を改良したものである。

【0045】図1は本実施例による入出力特性図であり、横軸は検出温度 [°C]、縦軸は温度データを表す。この図では、図3に示した特性を有する平均的なA T カット水晶振動子14の例を示している。即ち、図3を参照すると、水晶振動子14の単位温度当りの周波数変化率

【0046】

【数8】

$$\frac{\partial (\Delta F / F_0)}{\partial T}$$

【0047】が最小となるのは-10°Cと60°C、他方、単位温度当りの周波数変化率

【0048】

$$Y = \frac{K}{16.37} (-9.8 \times 10^{-5} (T - 25)^3 + 0.36 (T - 25)) \cdots (8)$$

【0055】また、60°C ≤ T ≤ 85°Cの領域では、(9)式の関数式で表される曲線とする。

$$Y = \frac{K}{16.37} (9.8 \times 10^{-5} (T - 25)^3 - 0.36 (T - 25) + 16.80)$$

…(9)

【0057】更に、-35°C ≤ T ≤ -10°Cの領域では、(10)式の関数式で表される曲線とする。

$$Y = \frac{K}{16.37} (9.8 \times 10^{-5} (T - 25)^3 - 0.36 (T - 25) - 16.80)$$

…(10)

【0059】入出力特性を上記のようにすると、図1の曲線勾配が大きい-35°C、85°Cの領域では、1 d i g 当たりの温度が小さくなり、僅かな温度変化でも異なる温度データD a が出力される。これにより、あたかも量子化ビット数が増加したように作用する。例えば、これら温度領域における勾配が従来の比例直線特性の1.

50

\*【数9】

$$\frac{\partial (\Delta F / F_0)}{\partial T}$$

【0049】が最大となるのは、-35°Cと85°Cの温度近傍である。しかも、周波数偏差 (ΔF/F<sub>0</sub>) の変化は前記(1)式より明らかなように三次曲線となっている。

【0050】そこで、温度符号化回路51の入出力特性を、-35°Cと85°Cの温度近傍にてその勾配が最大となり、且つ、-10°Cと60°Cの温度近傍にてその勾配が最小となる疑似三次曲線特性としたものである。具体的には、三次曲線の変曲点温度T<sub>1</sub>が

【0051】

【数10】

$$T_1 = -\sqrt{\frac{-B_0}{3A_0}} + 25 \text{ [°C]}$$

【0052】の場合に、-T<sub>1</sub>~T<sub>1</sub>間、図1の例では-10°C~60°C間は負符号つきで写像し、それから先は夫々通常の三次曲線をつないだ形の写像とする。

【0053】例えば、図1において、横軸の検出温度Tが-35°C及び85°Cの場合の縦軸Yの温度データを夫々K、-Kとすると、-10°C ≤ T ≤ 60°Cの領域では、(8)式の関数式で表される曲線とする。

【0054】

【数11】

※【0056】

※【数12】

★【0058】

★40 【数13】

5倍であったとすると、1 d i g 当たりの温度は0.33°Cとなり、(6)式に対応する周波数偏差は0.4 [p p m] となる。したがって、A/D変換部が8ビット量子化の場合であっても、目標偏差の最大値を超えなくなり、従来の量子化精度の低下及びジッタの問題が解消される。

【0060】他方、図1の曲線勾配が小さい領域では、1dig当たりの温度が大きくなるが、この温度領域では周波数変化率が小さいので、実際上は全く支障がなく、該変化率に対応した頻度で温度データDaが出力される。

【0061】このような疑似三次曲線特性は、検出温度Tに対応するA/D変換部の出力アドレスYを(8)~(10)式を満足するような形で作成することで容易に実現できる。

【0062】なお、上記入出力特性を、前記疑似三次曲線特性と近似する複数勾配の一次直線特性としても良い。図2はこの場合の入出力特性を図示したものであり、例えば-35℃~85℃間を五つの温度領域に分割し、各温度領域で下記に示すように一次関数で形成する疑似三次曲線の条件に近い実施例を示す。

【0063】

$$\text{【数14】 } Y = K(T - 5) / 40 \quad \cdots \cdots (11)$$

$$(-35^\circ\text{C} \leq T \leq -25^\circ\text{C})$$

【0064】

$$\text{【数15】 } Y = K(T - 65) / 120 \quad \cdots \cdots (12)$$

$$(-25^\circ\text{C} \leq T \leq 5^\circ\text{C})$$

【0065】

$$\text{【数16】 } Y = K(T - 25) / 40 \quad \cdots \cdots (13)$$

$$(5^\circ\text{C} \leq T \leq 45^\circ\text{C})$$

【0066】

$$\text{【数17】 } Y = K(T + 15) / 120 \quad \cdots \cdots (14)$$

$$(45^\circ\text{C} \leq T \leq 75^\circ\text{C})$$

【0067】

$$\text{【数18】 } Y = K(T - 45) / 40 \quad \cdots \cdots (15)$$

$$(75^\circ\text{C} \leq T \leq 85^\circ\text{C})$$

このような一次直線特性によれば、疑似三次曲線の場合とほぼ同様の効果が得られる。しかも、検出温度Tに対応するA/D変換部の出力アドレスYを等分刻みにすることができるので、その作成が疑似三次曲線特性の場合よりも容易であり、安定性のみに注目すれば良いので、より一般的な手段となり得る。

【0068】なお、上記(11)~(15)式は一例であって、温度領域をより細分割することで、疑似三次曲線特性に更に近似させることができる。

【0069】また、図1及び図2は平均的なATカット水晶振動子14を含んでなる発振回路55の例であるが、他の水晶振動子11~13、15~18の場合にも同様に適用することができるのは勿論である。この場合は、水晶振動子毎に変曲温度Tiを図3に従って算定し、(8)~(15)式の定数(温度条件)を変えることで、各水晶振動子固有の疑似三次曲線特性又は一次直線特性を得る。

【0070】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明の温度補償型水晶発振器では、温度符号化回路の入出力特性を、ATカット水晶振動子の単位温度当りの周波数変化率が最小となる温度領域にてその勾配が最小となり、単位温度当りの周波数変化率が最大となる温度領域にてその勾配が最大となる疑似三次曲線特性としたので、周波数偏差の変化率の大きい領域では対応する温度を細分化することができ、あたかも量子化ビット数を増加したような効果が得られる。これにより、温度符号化回路を含めたデータ処理回路のビット数、データ長を小さくすることができ、記憶デバイスのメモリ容量も節約されるので、その小型化、低価格化を図ることができる。

【0071】また、上記疑似三次曲線特性と近似する複数勾配の一次直線特性にて代用することで、特性形成が極めて容易となり、製造コストが格段に低下する。

【0072】このように、本発明によれば、カット角度のずれやバラツキにより周波数温度特性が夫々異なるATカット水晶振動子を用いても、各特性に応じた温度補償が容易になされるので、水晶振動子の有効利用が図れ、且つ、周波数偏差の許容範囲の厳格な用途においても使用可能な小型の温度補償型水晶発振器を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例による温度符号化回路の入出力特性図(疑似三次曲線特性図)である。

【図2】本発明の他の実施例による温度符号化回路の入出力特性図(一次直線特性図)である。

【図3】一般的なATカット水晶振動子の周波数偏差-温度特性図である。

【図4】セルラー等の許容周波数偏差の説明図である。

【図5】本発明が適用される従来の温度補償型水晶発振器のブロック構成図である。

【図6】従来の温度符号化回路の入出力特性図(比例直線特性図)である。

【図7】平均的なATカット水晶振動子における周波数偏差の変化率特性図である。

【符号の説明】

11~18…ATカット水晶振動子

50…温度センサ

51…温度符号化回路

52…補正值信号発生回路

53…データ設定回路

54…D/A変換回路

55…水晶発振回路

56…V-C変換回路

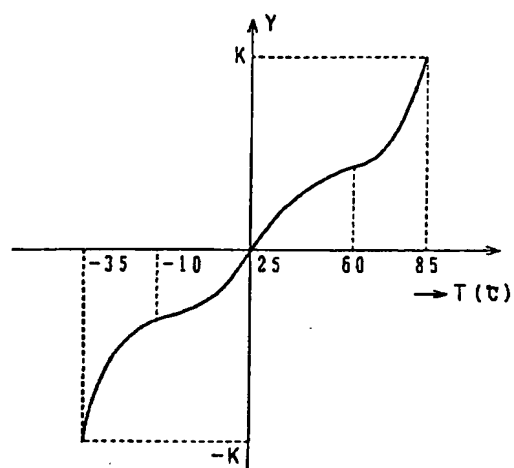
57…発振部回路及び出力回路

58…シーケンサ部

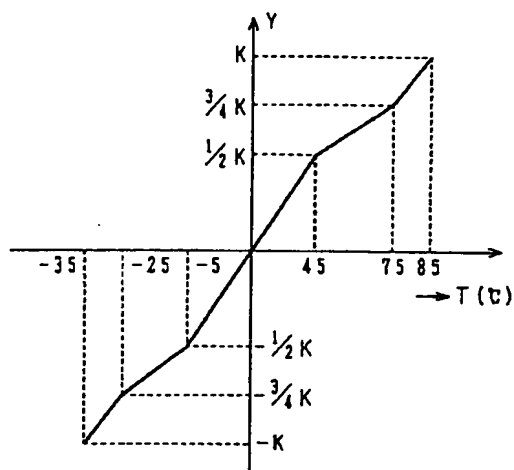
59…CR発振器



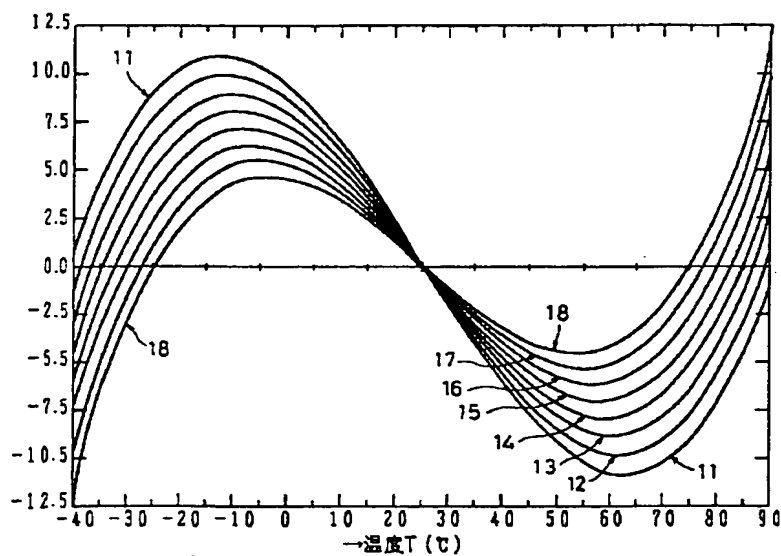
【図1】



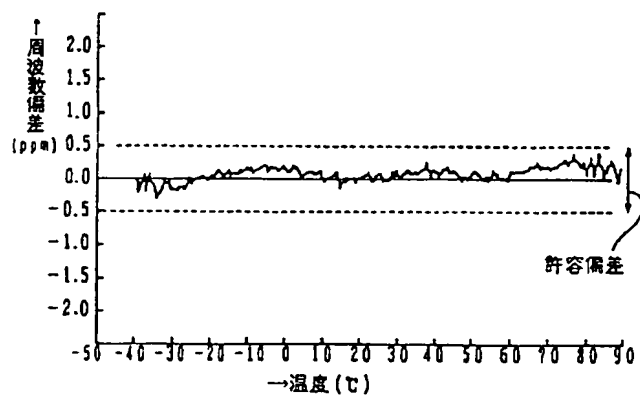
【図2】



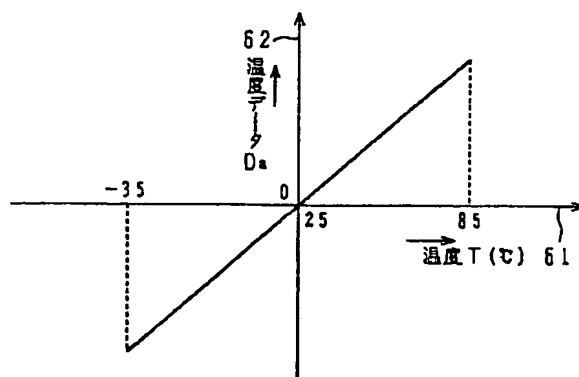
【図3】



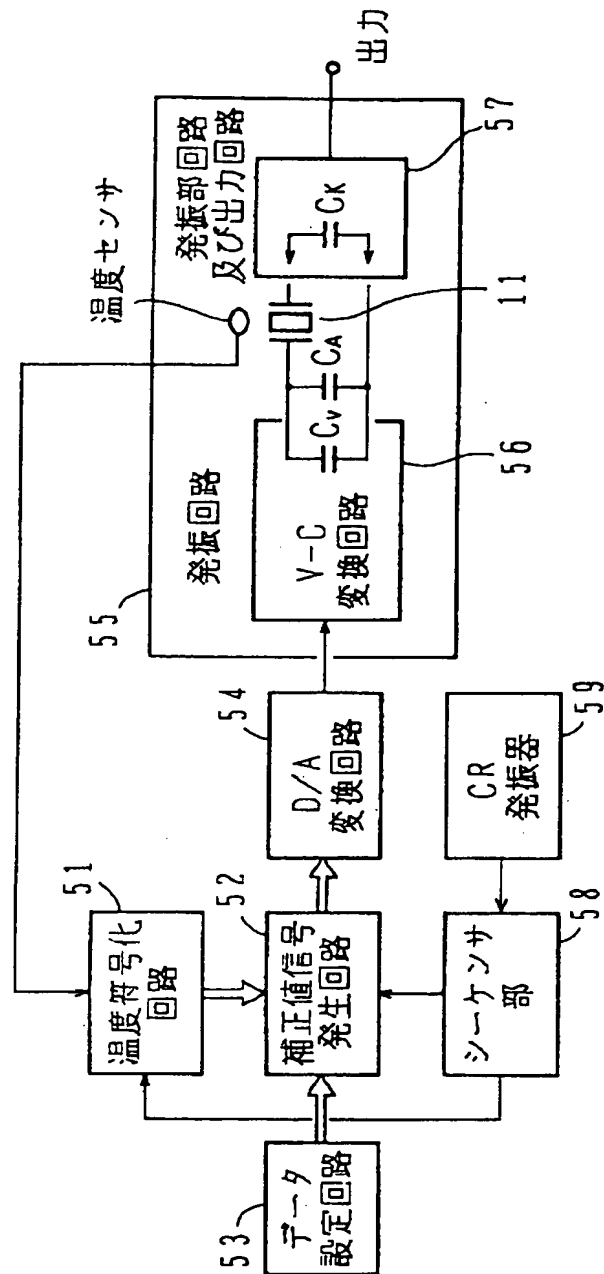
【図4】



【図6】



【図 5】



【図7】

